

entre 1905 et 1908, des doses supplémentaires de chaux, apportées à des parcelles précédemment chaulées, sont restées pratiquement sans effets.

La végétation sur les sols non fertilisés est variée et se compose d'environ 50 espèces, avec une proportion égale de graminées et de dicotylédones; le chaulage affecte peu la composition botanique. Les apports de PK Na Mg permettent de maintenir la diversité, mais les légumineuses ont tendance à augmenter, en particulier sur les parcelles traitées aussi avec de la chaux; sur les sols où des doses de sulfate d'ammoniaque ont provoqué une acidification, l'herbe est dominée par des plantes tolérant l'acidité, soit *Agrostis*, *Anthoxanthum*, soit *Holcus*, en fonction des doses d'N et des autres éléments nutritifs apportés.

Le chaulage associé aux deux doses les plus élevées de sulfate d'ammoniaque entraîne une prédominance d'herbes plus productrices, comme *Arrhenatherum* et *Alopecurus*. A doses égales de N, le nitrate de sodium sans chaulage produit une couche herbeuse semblable à celle que l'on peut obtenir avec des apports de sulfate d'ammoniaque associés à un chaulage. Il est particulièrement intéressant de noter que la flore de nombreuses parcelles se modifie lentement, alors que les traitements fertilisants restent inchangés. *Agrostis* et *Anthoxanthum*, qui sont maintenant dominantes sur certaines parcelles, ne l'étaient pas jusqu'en 1930 et 1950 respectivement. L'abondance relative de *Alopecurus* et d'*Arrhenatherum* a également été sujette à des variations dans le temps sur de nombreuses parcelles. Le chaulage introduit par le nouveau plan de fumure a provoqué des changements importants dans la composition botanique sur les sols acides précédemment non chaulés; les herbes tolérant l'acidité ont en général régressé, mais sans apport de K, *Festuca* s'est beaucoup multipliée.

Un apport de 96 kg N ha⁻¹ a entraîné une augmentation inattendue de *Holcus* et une dose de 144 kg N ha⁻¹ une diminution, inattendue elle aussi, mais *Arrhenatherum* et d'autres plantes fourragères ont eux aussi, augmenté. Sporadiquement quelques dicotylédones de diverses espèces se sont établies sur les parcelles.

Des doses croissantes de chaux sur des parcelles ayant déjà reçu de la chaux ont permis à *Arrhenatherum* de s'étendre, surtout au détriment d'*Alopecurus*. Des recherches sur les variations morphologiques et physiologiques chez *Anthoxanthum*, effectuées par SKAYDON *et al.*, de l'Université de Reading, ont mis à jour des différences d'une population à l'autre dans les caractères morphologiques et dans la réponse à la fumure minérale. L'apparition de ces différences a été rapide et locale et semble indiquer qu'il y a eu adaptation.

Le taux d'azote des différentes cultures a peu varié et les quantités d'N exportées par celles-ci furent en grande partie dépendantes du rendement. Les teneurs en P et K des récoltes étaient beaucoup plus élevées sur les parcelles fertilisées avec ces deux éléments, et l'absorption totale de P et de K par les plantes présentait de fortes variations. Les cultures renfermaient peu de Na et les teneurs en Na étaient encore plus faibles sur les parcelles fertilisées avec K. La teneur en Mg a diminué parallèlement à l'augmentation des rendements et c'est dans les traitements sans K que l'absorption de cet élément par les plantes a été la plus élevée. La teneur la plus importante en calcium a été obtenue dans les cultures sans engrais et la quantité exportée n'a pu être que légèrement augmentée par le chaulage. L'herbe cultivée sur sols acides contenait peu de Mg et de Ca.

Le pH des sols non fertilisés et celui des sols ayant reçu une fumure PK Na Mg se situe actuellement autour de 5. Les sols fertilisés avec du nitrate de sodium ont un pH de 6 à 7, mais les sols de toutes les parcelles traitées avec du sulfate d'ammoniaque sont très acides (pH 3,7-4,0). Dans les sols recevant les plus fortes doses de sulfate d'ammoniaque, la chaux appliquée depuis 1903 a été en grande partie perdue. Sur les parcelles chaulées conformément au nouveau plan, les changements du pH ont été lents. Il semble que le calcium soit retenu dans le « mat » superficiel, composé de matière organique partiellement décomposée. C'est dans les sols traités avec du sulfate d'ammoniaque que le pourcentage de matière organique a été le plus élevé; toutefois dans le traitement au nitrate de sodium ce pourcentage n'a pas été supérieur à celui du témoin sans engrais. Dans la plupart des traitements le taux d'N du sol a peu varié entre 1913 et 1959 et il semble qu'une valeur d'équilibre ait été atteinte. Des reliquats de P se sont accumulés dans la couche superficielle du sol et, dans les sols à teneur élevée en matière organique, une partie de ce P a migré dans le sous-sol. Des reliquats de K se sont également accumulés là où l'apport de K a été supérieur à l'exportation par les récoltes.

Depuis 1965, dans un essai en micro-parcelles (situé sur une parcelle fertilisée avec PK Na Mg entre 1870 et 1963), nous avons étudié les effets de doses d'azote plus importantes et de coupes plus fréquentes que dans l'essai principal. Les rendements en herbe et la récupération de l'N par les plantes ont été supérieurs à ceux de l'essai principal et les diverses espèces de *Trifolium* ont été très stimulées.

ZUSAMMENFASSUNG

GEGENWÄRTIGE NACHWIRKUNGEN EINES IM 1856 EINGESETZTEN VERSUCHS
AUF DAUERWIESEN WIRKUNGEN
DER DÜNGER UND DER KALKUNG AUF DIE BOTANISCHE ZUSAMMENSETZUNG
UND ANALYSEN DER KULTUREN UND BÖDEN

Seit 1856 wurden alle Jahre Düngerkombinationen einer Dauerwiese mit einer jährlichen Heuernte verabreicht und die Wirkungen dieser Behandlungen wurden den mit Stallmistgaben und ohne Düngung erzielten Wirkungen verglichen. Es wurden drei als Ammoniumsulfate ($48, 96$ und 144 kg N ha^{-1}) und zwei als Natriumperborat (48 und 96 kg N ha^{-1}) zugeführten Stickstoffgaben mit zusätzlicher P K Na Mg Zufuhr studiert, aber nicht alle Behandlungskombinationen wurden eingeschlossen. P K Na Mg sind auch ohne N verabreicht. Zwischen 1903 und 1964 erhielten die Halbpärzellen der meisten Behandlungen $240 \text{ kg CaO ha}^{-1}$ alle vier Jahre. Im Jahre 1965 wurde ein neues Kalkungsplan eingeführt, um über Böden mit einem pH von jeweils 4,5, 6 und 7 auf den vier Unterparzellen jeder Behandlung zu verfügen. Die Erträge wurden alle Jahre berechnet und die botanische und chemische Kräuterzusammensetzung wurde manchmal auch bestimmt. Schätzungen des pH und der Bödenährstoffgehalte wurden von Zeit zu Zeit gemacht. Dieser Bericht liefert die Ergebnisse für 12 unter den 20 Parzellen und enthält eine kurze Zusammenfassung der letzten Untersuchungen über die ökologische Genetik von *Anthoxanthum odoratum*, das auf der meisten Parzellen vertreten ist.

Die Heuerträge hängen von den seit dem Versuchsanfang durchgeführten Behandlungen ab. Die von der Behandlung bedingten Differenzen wurden während der sechsig ersten Jahren verstärkt, obgleich der Ertrag auf der meisten Parzellen abstieg. Dann, zwischen 1920 und 1960, sind die Erträge relativ beständig geblieben, ausser auf der Parzelle mit geringster Ammoniumsulfategabe, auf der die Erträge weiter absanken. Die unverdüngte Parzelle hatte immer noch einen niedrigen Ertrag und der höchste Ertrag wurde für die höchste Stickstoffgabe mit PKNaMg verzeichnet. Die Erträge waren gleich für PKNaMg-Gaben mit gleichwertigen entweder als Natriumperborat ohne Kalk oder als Ammoniumsulfat mit Kalk verabreichten Stickstoffmengen. Die alleinige PKNaMg-Düngung und der wechselweise mit Fischmehl zugeführte Stallmist ergaben mittlere Erträge. Seit 1960 sind die Ertragsschätzungen höher, weil sie vor und nicht nach den während der Heuernte erzeugten Verlusten durchgeführt worden sind. Die Erträge wurden nach einer zwischen 1965 und 1968 gemachten Kalkzufuhr auf sauren nicht vorhergekalkten Böden erhöht; aber eine zusätzliche Kalkgabe auf schon gekalkten Böden wirkte wenig. Auf unverdüngten Böden ist die Vegetation vielfältig; ungefähr 50 unter einjährigen Pflanzen und Dikotyledonen ebenfalls verteilte Pflanzenarten sind vertreten; Kalk beeinflusst wenig die botanische Zusammensetzung. Im Falle von PKNaMg-Zufuhr hält die Mannigfaltigkeit an, aber die Leguminosen vermehren sich insbesondere mit zusätzlicher Kalkzufuhr. Wenn Ammoniumsulfat den Boden angesäuert hat, beherrschen die säurebeständigen einjährigen Pflanzen-entweder *Agrostis*, *Anthoxanthum* oder *Holcus* in Abhängigkeit von der Zufuhr von N und anderen Nährstoffen. Eine Kalkzufuhr mit den beiden höchsten Ammoniumsulfatgaben begünstigt die Beherrschung von ertragsreicheren einjährigen Pflanzen wie *Arrhenatherum* und *Alopecurus*. Für gleichwertige N-Gaben ergibt das Natriumperborat ohne Kalkzufuhr einen Rasen, der diesem mit Ammoniumsulfat und Kalk gleicht. Es ist bemerkenswert dass die Flora von vielen Parzellen sich langsam ändert obgleich die Düngung nicht variiert. *Agrostis* oder *Anthoxanthum*, die heute auf einige Parzellen beherrschen, beherrschen erst seit den dreißiger bzw den sechziger Jahren. Die relative Abundanz von *Alopecurus* und *Arrhenatherum* hat auch mit der Zeit auf vielen Parzellen variiert. Die Kalkung nach dem neuen Plan hat bedeutende Änderungen in der botanischen Zusammensetzung auf vorher ungekalkten sauren Böden hervorgebracht; säurebeständige Kräuter haben sich gewöhnlicherweise verringert, aber ohne K-Zufuhr hat sich *Festuca* sehr vermehrt. Mit 96 kg N ha^{-1} hat sich *Holcus* unerwartet vermehrt und mit 144 kg ha^{-1} nimmt es ab, aber *Arrhenatherum* und die anderen einjährigen Pflanzen haben sich auch vermehrt. Gelegentliche Pflanzen vieler Dikotyledonenarten sind auf der Parzellen hervorgetreten. Erhöhte Kalkgaben auf vorher gekalktem Boden haben die Vermehrung von *Arrhenatherum* hauptsächlich auf Kosten von *Alopecurus* begünstigt. Die Untersuchungen von Dr SNAYDON und *al* der Universität von Reading über die morphologischen und physiologischen Veränderungen in *Anthoxanthum* haben eine Bestandsdifferenzierung erweist, die die morphologischen Eigenschaften und die Rückwirkungen hinsichtlich der mineralen Nährstoffe betrifft. Die Differenzen haben sich schnell und örtlich geändert und scheinen einem Anpassungsvermögen zu entsprechen.

Die Schwankung des N-Prozentsatzes in den verschiedenen Kulturen war klein und die N-Aufnahme durch die Pflanzen auf den verschiedenen Parzellen hing im grossen Umfang vom Ertrag ab. Der P- und K-Prozentsatz in den Kulturen Waren viel grösser mit P- und K-Düngung als ohne und die gesamte Aufnahme von beiden Stoffen variierte weitgehend. Die Kulturen enthielten wenig Na und dieser Gehalt sank mit K-Zufuhr ab. Mg-Prozentsatz nimmt mit Ertragserhöhung ab und die Aufnahme war höher ohne Kalkzufuhr. Der Höchste Ca-Prozentsatz wurde in Kulturen ohne Düngung erzielt und die augenommene Menge war nur leicht durch Kalkung erhöht. Der auf sauren Böden gewachsene Rasen enthielt wenig Mg und Ca.

Die pH von ungedüngten und mit PKNaMg gedüngten Böden gleichen jetzt ungefähr 5. Die pH von Böden mit Natriumperboratzufuhr variieren zwischen 6 und 7, aber auf allen Parzellen mit Ammoniumsulfatzufuhr sind die Böden sehr sauer (pH 3.7-4.0). Auf den Böden mit der grössten Ammoniumsulfatgaben wurde ein grosser Teil des seit 1903 gebrachten Kalks verloren. Wo Kalk gemäss dem neuen Plan verabreicht worden ist, sind die Änderungen des pH langsam vorgekommen, Ca scheint an der Oberfläche der teilweise zersetzten Stoffe zu bleiben. Der höchste Prozentsatz organischer Substanzen im Boden war auf den Böden mit Ammoniumsulfatzufuhr verzeichnet, aber es gibt nicht mehr organische Stoffe in den mit Natriumperborat verabreichten Böden als in unverdüngten Böden. In den meisten Behandlungen hat sich der N-Prozentsatz zwischen 1913 und 1959 wenig geändert und ein Gleichgewichtswert scheint erreicht zu sein. P-Rückstände werden in der Bodenoberfläche angehäuft und auf an organischen Stoffen reichen Böden haben einige davon in den Untergrund gewandert. K-Rückstände werden auch in den Böden angehäuft, die eine der Kulturaufnahme überlegene K-Gabe erhalten.

Seit 1965 werden grössere Stickstoffmengen und öftere Schnitte in einem Mikroparzellenversuch (auf einer Parzelle mit PKNaMg-Zufuhr zwischen 1870 und 1963) als in dem Hauptversuch getestet. Die Wieseerträge und N-Verwertung waren grösser als in dem Hauptversuch und *Trifolium* arten waren sehr begünstigt.

РЕЗЮМЕ

Модернизация опыта начатого в 1856-м году на постоянном лугу : влияние удобрения и известкования на ботанический состав, урожайность и анализы почв.

Ж. М. ТХЭРСТОН, И. Д. ВИЛЬЯМС, А. Е. ДЖОНСТОН.

На постоянных укосных лугах, скашивавшихся каждый год на сено, с 1856-го года применялись ежегодно различные формулы удобрения, и их действие сравнивалось с действием обработки навозом и с результатами полученными на делянках без удобрения. В опыте применялись 3 разных дозы азота в форме серноокислого аммония (48, 96 и 144 кг N/га⁻¹), и 2 дозы в форме нитрата натрия (48, и 96 кг N/га⁻¹) вносившиеся с PK, Na и Mg; но все возможные комбинации удобрений не были использованы полностью. Удобрение PK, Na, Mg, применялось также без азота. Между 1903-м и 1964-м годом, каждые 4 года, проводились также известкования в дозе 2 240 кг CaO/га⁻¹ на половинах делянок большей части обработок. В 1965-м году был реализован новый план известкований, для того чтобы довести pH почвы в принципе, от 4,5 до 6,7 на 4-х половинах делянок каждого варианта. Урожай регистрировался каждый год и в некоторые годы проводились ботанический и химический анализы травы. Периодически определялись также кислотность почв и содержание в них главных питательных элементов.

Данная работа включает результаты, полученные на 12-ти из 20-ти делянок, и краткое описание недавно проведенных работ по экологии душистого колоска (*Anthoxanthum odoratum*), найденном на большинстве делянок.

С самого начала опыта урожай изменялся в зависимости от обработки. В течении первых 60-ти лет различия были более сильными, несмотря на уменьшение урожайности на большинстве из делянок. Позже, от 1920-го до 1960-го года, урожайность оставалась на одном и том-же уровне, за исключением варианта внесения максимальных количеств серноокислого аммония, в котором урожайность продолжала падать.

Неудобренная делянка продолжала приносить мало, а самый крупный урожай был получен при внесении самой крупной дозы азота, РК, Na и Mg. В случаях когда РК, Na и Mg вносились с эквивалентными количествами азота в форме нитрата натрия и без прибавления извести, или в форме серноокислого аммония с прибавлением этой последней, полученные урожаи были одного уровня. Применение РК, Na, и Mg без азота, и поочередное внесение навоза и рыбной муки, давало посредственные результаты. Начиная с 1960-го года урожаи стали больше, ибо пробы стали отбираться не после, а до потерь вызванных укосом. Улучшение урожайности было достигнуто на кислых почвах, предварительно не известкованных, но получивших известь между 1965-м и 1968-м годом; дополнительное-же известкование делянок, предварительно уже известкованных, не произвело практически никакого благоприятного действия.

На неудобренных почвах растительность очень разнообразна и включает около 50 видов, причем пропорция злаковых и двусеменодольных в ней более или менее одинакова; известкование мало влияет на ботанический состав трав. Внесение РК, Na и Mg позволяет поддерживать разнообразие, но с тенденцией к увеличению пропорции бобовых, в особенности на известкованных делянках; на почвах в которых высокие дозы серноокислого аммония вызвали увеличение кислотности, в разнотравьи господствуют растения хорошо выносящие кислотность: полевица (*Agrostis*) душистый колосок (*Anthoxanthum*) или бухарник (*Holcus*), в зависимости от применявшихся доз азота и других питательных элементов.

Известкование, комбинированное с двумя самыми крупными дозами серноокислого аммония, приводит к господству более продуктивных трав, как рай-грасс высокий (*Arrhenatherum*) и лисохвост (*Alopecurus*). При одинаковых дозах азота, нитрат натрия без известкования, дает слой травы того-же порядка что и сернокилый аммоний, комбинированный с известкованием. Но особенно интересно отметить, что флора многих делянок изменяется очень медленно, даже тогда, когда применяется одна и та-же обработка. Полевица (*Agrostis*) и душистый колосок (*Anthoxanthum*) преобладающие в настоящее время на некоторых делянках, не господствовали до 1930-го и 1950-го года соответственно. Относительное изобилие лисохвоста (*Alopecurus*) и рай-грасса высокого (*Arrhenatherum*) также изменилось со временем на многочисленных делянках. Известкование, введенное новым планом, вызвало очень сильные изменения ботанического состава трав на кислых, предварительно не известкованных почвах; отмечена была общая регрессия процента нечувствительных к кислотности трав, и в отсутствии калийного удобрения сильно распространилась овсяница (*Festuca*).

Внесение дозы в 96 кг N/га вызвало неожиданное увеличение процента бухарника (*Holcus*), а внесение дозы в 144 кг N/га, такое-же неожиданное уменьшение этого процента, в то время как пропорция рай-грасса высокого (*Arrhenatherum*) и других кормовых трав сильно увеличивалась. Спорадически появлялись на делянках и некоторые двусеменодольные, принадлежавшие к разным видам.

Увеличение доз извести на делянках уже известкованных, вызвало распространение рай-грасса высокого (*Arrhenatherum*), особенно за счет лисохвоста (*Alopecurus*). Исследование, посвященное морфологическим и физическим изменениям душистого колоска, проведенные Снайдоном и колл. в университете в Ридинге, выявили существование различий между популяциями этого вида в смысле морфологических характеристик и реакции на внесение минеральных удобрений.

Появляются эти различия очень быстро и локально и должно-быть указывают на применение растений. Процент азота изменялся мало в разных культурах и количества вынесенного ими элемента зависели в большинстве случаев от урожая. Сожание Р и К в урожаях были гораздо выше на делянках удобренных этими элементами, но поглощение их растениями было очень разным. Культуры содержали мало натрия, и содержание его было еще более слабым на делянках получавших калий. Содержание магния уменьшалось параллельно увеличению урожайности и наиболее интенсивное поглощение этого элемента растениями наблюдалось на делянках не получавших калия. Наиболее высокое содержание кальция наблюдалось в культурах не получавших удобрения, и количество вынесенного растениями элемента увеличивалось только очень немного, после известкования. Травы культивируемые на кислых почвах содержали очень небольшие количества магния и кальция.

рН неудобранных почв и почв получивших удобрение РК, Na и Mg, не превышает в настоящее время 5. рН почв удобренных нитратом натрия находится между 6 и 7, но все почвы обработанные сернокислым аммонием имеют кислую реакцию ($\text{pH} = 3,7-4,0$). В почвах получавших самые крупные дозы сернокислого аммония, известь вносившаяся с 1903-го года, была, в большинстве случаев, — потеряна. На делянках, известкованных по новому плану, рН изменялся очень медленно. Кальций, кажется удерживался в поверхностном слое, составленном из частично разложившегося органического вещества. Процент органического вещества был наиболее велик в почвах получивших сернокислый аммоний, но в варианте с нитратом натрия содержание органического вещества не превышало его содержания в контрольных неудобранных делянках. С 1903-го до 1959-г. года процент почвенного азота менялся мало в зависимости от обработок, и здесь, кажется были достигнуты равновесные величины. Остаточные количества фосфора накапливались в поверхностном слое почв, а в почвах с повышенным содержанием органического вещества, часть этого фосфора мигрировала в под-почву. Остаточные количества калия также накапливались в тех местах, где количество внесенного элемента превышало вынос его урожаем.

С 1965-го года, в опыте на микро-делянках (расположенных на делянке получавшей удобрение РК, Na и Mg с 1870-го по 1963-ий год), изучалось действие более крупных доз азота, и более частых, чем в главном опыте, укосов. Урожай трав и рекуперация азота растениями были лучше и интенсивнее чем в главном опыте и, отмечалась, кроме того, сильная стимуляция некоторых видов клевера.

REFERENCES

- BRENCHLEY W. E., 1924. *Manuring of grassland for hay*. The Rothamsted Monographs on Agricultural Science. 144 pages, London : Longmans.
- BRENCHLEY W. E., 1925. The effect of light and heavy dressings of lime on grassland. *J. Minist. Agric. Fish.*, **32**, 504-512.
- BRENCHLEY W. E., 1930. The varying effect of lime on grassland with different schemes of manuring. *J. Minist. Agric. Fish.*, **37**, 663-673.
- BRENCHLEY W. E., 1935 a. The influence of season and of the application of lime on the botanical composition of grassland herbage. *Ann. appl. Biol.*, **22**, 183-207.
- BRENCHLEY W. E., 1935 b. Park Grass plots. *Rep. Rothamsted exp. Stn* for 1934, 138-159.
- BRENCHLEY W. E., WARINGTON K., 1969. *The Park Grass plots at Rothamsted 1856-1949*. Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Herts.
- CASHEN R. O., 1947. The influence of rainfall on the yield and botanical composition of permanent grass at Rothamsted. *J. agric. Sci. Camb.*, **37**, 1-10.
- CLAPHAM A. R., TUTIN T. G., WARBURG E. F., 1962. *Flora of the British Isles*. 2nd edition. Cambridge University Press.
- CROWTHER E. M., 1925. Studies on soil reaction, 3, 4, 5. *J. agric. Sci. Camb.*, **15**, 201-221 ; 222-231, 232-236.
- DAVIES M. S., 1975. Physiological differences among populations of *Anthoxanthum odoratum* L. collected from the Park Grass Experiment, Rothamsted. IV. Response to potassium and magnesium. *J. appl. Ecol.*, **12**, 953-964.
- DAVIES M. S., SNAYDON R. W., 1973 a. Physiological differences among populations of *Anthoxanthum odoratum* L. collected from the Park Grass Experiment, Rothamsted. I. Response to calcium. *J. appl. Ecol.*, **10**, 33-45.
- DAVIES M. S., SNAYDON R. W., 1973 b. Physiological differences among populations of *Anthoxanthum odoratum* L. collected from the Park Grass Experiment, Rothamsted. II. Response to aluminium. *J. appl. Ecol.*, **10**, 47-55.
- DAVIES M. S., SNAYDON R. W., 1974. Physiological differences among populations of *Anthoxanthum odoratum* L. collected from the Park Grass Experiment, Rothamsted. III. Response to phosphate. *J. appl. Ecol.*, **11**, 699-707.
- DAVIES M. S., SNAYDON R. W., 1976. Rapid population differentiation in a mosaic environment. III. Measurements of selection. *Heredity*, Lond., **36**, in press.
- EDWARDS C. A., LOFTY J. R., 1975. The invertebrate fauna of the Park Grass plots. I. Soil fauna. *Rep. Rothamsted exp. Stn* for 1974, Pt. 2, 133-154.
- EDWARDS C. A., BUTLER C. G., LOFTY J. R., 1976. The invertebrate fauna of the Park Grass plots. II. Surface fauna. *Rep. Rothamsted exp. Stn* for 1975, Pt. 2, 63-89.
- GOODMAN P. J., 1969. Intra-specific variation in mineral nutrition of plants from different habitats. In : *Ecological aspects of the mineral nutrition of plants*. Ed. I. H. Rorison, Blackwell Scientific Publications. p. 237-253.
- HALL A. D., 1905. Experiments on grassland mown for hay every year. *The Rothamsted Experiments*. Chapter 9, 150-189.
- JOHNSTON A. E., 1972. Changes in soil properties caused by the new liming scheme on Park Grass. *Rep. Rothamsted exp. Stn* for 1971, Pt. 2, 177-180.
- JOHNSTON A. E., 1976. Additions and removals of nitrogen and phosphorus in long-term experiments at Rothamsted and Woburn and the effect of the residues on total soil nitrogen and phosphorus. In : *Agriculture and Water Quality*. Tech Bull. Minist. Agric. Fish. Fd No. 32, 111-144.
- JOHNSTON A. E., MATTINGLY G. E. G., 1976. Experiments on the continuous growth of arable crops at Rothamsted and Woburn experimental Stations : effects of treatments on crop yield and soil analyses and recent modifications in purpose and design. *Ann. agron.*, **27** (15-16).
- LAWES J. B., GILBERT J. H., 1859. Report of experiments with different manures on permanent meadow land. *Jl. R. agric. Soc. of England*. 1st series, **19**, 552-573 ; **20**, Part II, 228-246 ; III, 246-272 ; IV, 398-441.
- LAWES J. B., GILBERT J. H., 1871. Effects of the drought of 1870 on some of the experimental crops at Rothamsted. *Jl. R. agric. Soc. of England*, **7**, Part I, 91-132.
- LAWES J. B., GILBERT J. H., 1880. Agricultural, botanical and chemical results of experiments on the mixed herbage of permanent meadow, conducted for more than twenty years in succession on the same land. Part I. The agricultural results. *Phil. Trans. R. Soc. (A and B)*, **171**, 289-415.
- LAWES J. B., GILBERT J. H., 1895. The feeding of animals for the production of meat, milk and manure and for the exercise of force. *The Rothamsted Experiments over fifty years*, Blackwood and Sons, London, 255-354.

- LAWES J. B., GILBERT J. H., 1900. Agricultural, botanical and chemical results of experiments on the mixed herbage of permanent grassland, conducted for many years in succession on the same land. Part III. The chemical results. *Phil. Trans. R. Soc. (B)*, **192**, 139-210.
- LAWES J. B., GILBERT J. H., MASTERS M. T., 1882. Agricultural, botanical and chemical results of experiments on the mixed herbage of permanent meadow, conducted for more than twenty years in succession on the same land. Part II. The botanical results. *Phil. Trans. R. Soc. (A and B)*, **173**, 1181-1413.
- NOWAKOWSKI T. Z., JOHNSTON A. E., LAZARUS W., 1975. Effects of potassium deficiency and acidity on the composition of pasture grasses. *Rep. Rothamsted exp. Stn for 1974, Pt. 1*, 83-84.
- NUTMAN P. S., ROSS G. J. S., 1970. Rhizobium in the soils of the Rothamsted and Woburn Farms. *Rep. Rothamsted exp. Stn for 1969, Pt. 2*, 148-167.
- PENMAN H. L., 1974. Rothamsted Weather. *Rep. Rothamsted exp. Stn for 1973, Pt. 2*, 172-201.
- REMISON S. U., 1976. A study of root interactions among grass species. Ph. D. Thesis, University of Reading, England.
- RICHARDSON H. L., 1938. The nitrogen cycle in grassland soils: with special reference to the Rothamsted Park Grass Experiment. *J. agric. Sci. Camb.*, **28**, 73-121.
- SATCHELL J. E., 1955. Some aspects of earthworm ecology. In: *Soil Zoology*. Ed. D. K. Mc E. Kevan. London: Butterworths, p. 180-201.
- SHAW K., 1958. Studies on nitrogen and carbon transformations in soil. Ph. D. Thesis, University of London.
- SNAYDON R. W., 1970. Rapid population differentiation in a mosaic environment. I. Response of *Anthoxanthum odoratum* L. populations to soils. *Evolution*, **24**, 257-269.
- SNAYDON R. W., DAVIES M. S., 1972. Rapid population differentiation in a mosaic environment. II. Morphological variation in *Anthoxanthum odoratum* L. *Evolution*, **26**, 390-405.
- SNAYDON R. W., DAVIES M. S., 1976. Rapid population differentiation in a mosaic environment. IV. Populations of *Anthoxanthum odoratum* L. at sharp boundaries. *Heredity*, **36**, in press.
- STAPLEDON R. G., 1939. *The plough-up policy and ley farming*. Chapter 8, The value of herbs, Faber and Faber Ltd., 107-109.
- WARREN R. G., JOHNSTON A. E., 1964. The Park Grass Experiment. *Rep. Rothamsted exp. Stn for 1963*, 240-262.
- WARREN R. G., JOHNSTON A. E., COOKE G. W., 1965. Changes in the Park Grass experiment. *Rep. Rothamsted exp. Stn for 1964*, 224-228.
- WALKLEY A., 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils, effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.*, **63**, 251-264.
- WILLIAMS E. D., 1974. Changes in yield and botanical composition caused by the new liming scheme on Park Grass. *Rep. Rothamsted exp. Stn for 1973, Pt. 2*, 67-73.

